INTERAÇÃO DA ARQUITETURA DA PLANTA E ESPAÇAMENTO NA PRODUTIVIDADE DO MILHO (*Zea mays* L.)

GILBERTO POZAR

Orientador: Dr. JOÃO RUBENS ZINSKY

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo, Brasil
Julho, 1981

.ii.

A meus pais,
exemplo de amor e trabalho,
DEDICO

À minha esposa Lourdes,
à minha filha Priscila,
e à minha irmã Ivani,
OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

O autor expressa os seus sinceros agradecimentos às seguintes pessoas e entidades:

- ao Professor João Rubens Zinsly, pela excelente orientação e amizade;
- ao Instituto de Genética da ESALQ, em nome do seu Diretor Professor Ernesto Paterniani, pelo apoio e amizade recebidos durante o curso;
- aos Professores Roland Vencovsky, Isaias Olivio Geraldi, José Branco de Miranda Filho, Gerhard Bandel e Jesus Marden dos Santos (Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ), pelas valiosas sugestões e críticas e orientação na análise estatística;
- ao acadêmico Francisco Ide e às Engenheiros Agrônomos Ivani Pozar e Rosaria Maria Susi, pela colaboração na tomada dos dados;
- ao colega Fabrizio D'Ayala Valva pelas valiosas sugestões e críticas;
- à EMPRESA GOIANA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - (EMGOPA), em nome de seu diretor Dorival Rodrigues Leite, pela possibilidade de realização de parte do curso;
- ao colega Gil Santos da EMGOPA, pela colaboração na análise estatística;

- ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida;

- aos funcionários do Departamento de Genética, em especial ao Walter, Serrano, Sr. João e Narciso, e aos funcionários da Estação Experimental de Anhembi, pela valiosa colaboração e amizade.

ÍNDICE

	<u>página</u>
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Interceptação e utilização da radiação solar pela cultura em condições de campo	3
2.1.1. Eficiência das reações fotoquímicas das folhas	4
2.1.2. Estadio de desenvolvimento da cultura .	6
2.1.3. Densidade de plantio	8
2.2. Inclinação das folhas e interceptação de luz .	11
2.2.1. Inclinação das folhas e produção de grãos	13
3. MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1. Materiais	23
3.2. Métodos	28
3.2.1. Condução do experimento	28
3.2.2. Análise estatística dos dados	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1. Material experimental	32
4.2. Efeitos da inclinação das folhas e espaçamentos sobre o índice de espiga	34
4.3. Efeito do "stand" final sobre a produção de grãos	39

4.4. Efeitos da inclinação das folhas e espaçamentos	
entre linhas sobre a produção de grãos	40
5. CONCLUSÕES	52
6. LITERATURA CITADA	54
TABELAS E FIGURAS	62

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela</u>	<u>página</u>
1 - Análises da variância relativas ao caráter produção de grãos, em toneladas por hectare, corrigidos para 15,5% de umidade, para os quatro espaçamentos (0,60, 0,80, 1,00 e 1,20 metros) entre linhas	64
2 - Análises da variância relativas ao caráter índice de espigas, com dados transformados em $\sqrt{x}$, para os quatro espaçamentos (0,60, 0,80, 1,00 e 1,20 m) entre linhas	65
3 - Análises da variância relativas ao caráter "stand" final, com dados transformados para $\sqrt{x}$, para os quatro espaçamentos (0,60, 0,80, 1,00 e 1,20 m) entre linhas	66
4 - Análise da variância conjunta para os quatro espaçamentos, relativa ao caráter produção de grãos, em toneladas por hectare, com dados corrigidos para 15,5% de umidade	67
5 - Análise da variância conjunta para os quatro espaçamentos entre linhas, relativa ao caráter índice de espiga, com dados transformados em $\sqrt{x}$.	68

Tabelapágina

6 - Médias relativas ao caráter produção de grãos, em toneladas por hectare, corrigidas para 15,5 % de umidade, para os quatro espaçamentos (0,60, 0,80, 1,00 e 1,20 m) entre linhas	69
7 - Médias relativas ao caráter índice de espigas, para os quatro espaçamentos (0,60, 0,80, 1,00 e 1,20 m) entre linhas	70
8 - Médias relativas ao caráter "stand" final, em mil plantas por hectare, para os quatro espaça mentos (0,60, 0,80, 1,00 e 1,20 m) entre li- nhas	71
9 - Análise da regressão com desdobramento da soma de quadrado para o caráter produção de grãos, para as cinco cultivares	72
10 - Análise da regressão com desdobramento da soma de quadrado para o caráter índice de espiga, pa ra as cinco cultivares	73

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura</u>	<u>página</u>
1 - Regressão da produção de grãos sobre os quatro espaçamentos entre linhas para as "populações arquitetura"	74
2 - Regressão da produção de grãos sobre os quatro espaçamentos entre linhas para as testemunhas.	75
3 - Regressão do índice de espigas sobre os quatro espaçamentos entre linhas para as cinco cultivares	76

CURRICULUM VITAE

GILBERTO POZAR, filho de André Pozar e Cecília Santin Pozar, nasceu em Piracicaba, São Paulo, em 31 de maio de 1954. Completou o curso científico em 1971, no colégio Salesiano Dom Bosco, em Piracicaba, SP. Em 1973 ingressou na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, graduando-se em Engenharia Agrônômica em 1976. Durante esse período, estagiou no Instituto de Genética da ESALQ, onde desenvolveu diversos projetos de pesquisa. Desempenhou suas atividades profissionais na EMPRESA GOIANA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMGOPA) de 1978 a 1980. Atualmente vem desempenhando suas atividades na DeKALB AGRÍCOLA DO BRASIL LTDA.

RESUMO

INTERAÇÃO DA ARQUITETURA DA PLANTA E ESPAÇAMENTO NA PRODUTIVIDADE DO MILHO (*Zea mays* L.)

Autor: Gilberto Pozar

Orientador: Dr. João Rubens Zinsly

O presente trabalho teve por objetivo avaliar os efeitos da inclinação das folhas de milho (*Zea mays* L.), sobre a produção de grãos e o índice de espigas.

Foram empregadas três populações de porte alto, de mesma base genética, porém, contrastantes quanto à orientação de suas folhas: a. população com folhas "normais", caracterizando-se por apresentar as folhas flácidas e orientadas horizontalmente; b; população com folhas "sem lígula", obtida pela introdução dos genes "liguleless-2" e "Liguleless-3", caracteriza-se por apresentar as folhas orientadas verticalmente, inseridas no colmo à um ângulo agudo; e c. população com folhas "espetadas", caracterizando-se por apresentar as folhas erectas e rígidas em todo o seu comprimento, porém, inseridas no colmo à um ângulo normal. Foram utilizados quatro espaçamentos entre linhas: 0,60, 0,80, 1,00 e 1,20 metros com 0,20 metros entre plantas em todos os espaçamentos. Duas cultivares comerciais, o Piranão e o C 5005-M, foram incluídos nos ensaios com a finalidade de se avaliar o potencial de

produtividade das três populações em estudo.

Os resultados relativos ao caráter índice de espigas indicaram que entre as três populações, os índices médios de espiga das populações com folhas "sem lígula" e "espetada" foram iguais (0,76), porém, significativamente maiores que a da com folhas "normais" (0,63), no espaçamento de 0,60 metros. Com o aumento do espaçamento entre linhas, entretanto, essas diferenças tornaram-se gradativamente menores. Assim, no espaçamento de 0,80 metros, os índices médios de espiga foram 0,91, 0,87 e 0,83 e no espaçamento de 1,00 metro foram de 0,94, 0,91 e 0,93 para as populações com as folhas "sem lígula", "espetada" e "normal", respectivamente. Nenhuma dessas diferenças foram significativas.

Esses resultados indicam que a orientação das folhas numa posição mais vertical foi efetiva em promover uma diminuição no número de plantas estéreis com a diminuição do espaçamento entre linhas.

Com relação ao caráter produção de grãos, os resultados mostraram que a população com folhas "sem lígula" foi superior à população com folhas "normais" em 17,5% e 2,0%, nos espaçamentos de 0,60 e 0,80 metros, respectivamente. Já a população com folhas "espetadas" produziu 5,8% mais e 17,7% menos grãos que a população "normal", respectivamente, nesses espaçamentos. No espaçamento de 1,00 metro, no entanto, a população com folhas "normais" produziu 17,2% e 21,1% em rela-

ção às populações com folhas "sem lígula" e "espetada", respectivamente. Não se detectou significância para nenhuma dessas diferenças. A interação das três populações com espaçamento não foi, porém, significativa.

Os espaçamentos afetaram significativamente a produção de grãos. As respostas para produção de grãos das três populações à variação do espaçamento entre linhas, entretanto, foram diferentes. A população com folhas "espetadas" respondeu linearmente ao aumento do espaçamento. A população com folhas "normais" obteve uma resposta quadrática. A população com folhas "sem lígula" não respondeu significativamente à variação no espaçamento.

Esses resultados indicam a importância da inclinação vertical das folhas em promover uma maior tolerância à diminuição do espaçamento entre linhas e/ou aumento da densidade de plantio, salientando a importância dessa característica na seleção de genótipos mais tolerantes a plantio densos.

SUMMARY

INTERACTION OF PLANT ARCHITECTURE AND ROW SPACING ON GRAIN YIELD OF MAIZE (*Zea mays* L.)

Author: Gilberto Pozar

Adviser: Dr. João Rubens Zinsly

The present work was conducted to evaluate the influence of leaf orientation on grain yield and prolificacy in maize (*Zea mays* L.).

Three populations of normal (tall) plant height were used from the same genetic origin, but contrasting in relation to leaf orientation: a. population with "normal" leaves, characterized by having flaccid leaves and horizontal leaf orientation; b. population with "liguleless" leaves obtained by introducing the "liguleless-2" and "Liguleless-3" genes characterized by presenting a vertical leaf orientation, and the insertion at the stalk in an acute angle; c. population with stiff leaves (espetada), characterized by presenting erect and stiff leaves in their entire length, inserted at the stalk in a normal angle.

Four row spacing were used: 0.60, 0.80, 1.00 and 1.20 m with 0.20 m between plants within all row spacings.

Two commercial cultivars, Piranão and C 5005-M, were included in the trials as checks for productivity.

The results showed that among the three populations the average number of ears per plant for "liguleless" and "espetada" populations were equals (0.76) but significantly greater than for "normal" leaves (0.63) in the 0.60 m spacing. By increasing the row spacing, however the differences became smaller. So, for row spacing of 0.80 m the mean number of ears per plant were 0.91, 0.87 and 0.83 and for 1.00 m were 0.94, 0.91 and 0.93 for the "liguleless", "espetada" and "normal", populations respectively. No one of the differences were significant.

These results indicate that vertically oriented leaves, were effective by reducing the number of barren plants as the row spacing was reduced.

The results showed that the population with "liguleless" leaves produced 17.5% and 2.0% more grain than the population with "normal" leaves, in the row spacings of 0.60 m and 0.80 m, respectively. The population with stiff leaves produced 5.8% more and 17.7% less grain than the one with "normal" leaves, respectively in the same spacings. However, in the row spacing of 1.00 m the population with "normal" leaves outyielded by 17.2% and 21.1% the population with "liguleless" and "espetada" leaves, respectively. No

one of these differences was significant.

Grain yield was significantly affected by spacing. The grain yield response of each population was different to each row spacing. The population with "espetada" leaves presented a linear response to row spacings. The population with "normal" leaves presented a quadratic response. The population with "liguleless" leaves did not present significant response to an increase in row spacings.

These results show the importance of vertical leaf orientation in promoting greater tolerance to row spacing decreases and/or an increase in plant population, showing the importance of this characteristic in selecting genotypes more tolerant to heavier population rates.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, progressos bastante significativos foram obtidos na área da fisiologia vegetal. Isso contribuiu de maneira decisiva no desenvolvimento de uma nova filosofia nos programas de melhoramento genético: a seleção de plantas através do uso de componentes de produção e características morfológicas e/ou fisiológicas diretamente relacionadas com a produção.

O melhoramento genético praticado no milho (*Zea mays* L.) a partir de sua domesticação, sem dúvida, promoveu aumentos substanciais na produção de grãos. Entretanto, através da seleção de tipos mais produtivos, o homem, conscientemente ou não, alterou características morfológicas e fisiológicas, adaptando-o para a sua máxima eficiência no sistema de cultivo então em uso. Assim, foram selecionadas plantas com uma espiga por facilidade de colheita manual; plantas altas, com folhas orientadas horizontalmente, por serem mais

competitivas com plantas invasoras, um problema associado com a utilização de espaçamentos largos entre as linhas (MOCK e PEARCE, 1975).

Esse tipo de planta não parece, no entanto, ser o mais eficiente nos atuais sistemas de produção. O que caracteriza tais sistemas, são a utilização de doses mais elevadas de fertilizantes e maiores densidades de plantio, principalmente. Sob tais condições, o principal fator que provavelmente limita a produção de grãos, é o autossombreamento excessivo entre as folhas, o que impede a máxima utilização da radiação solar incidente.

Então, plantas que permitissem uma maior penetração de luz no interior da cultura, teoricamente teriam uma maior taxa fotossintética. Isso reduziria o problema de plantas estéreis, a principal característica associada a plantios densos. Dentre os diversos fatores que influenciam a penetração de luz no interior da cultura, o ângulo de inclinação das folhas em relação à luz solar incidente é o mais importante.

O objetivo do presente trabalho, foi avaliar os efeitos da inclinação e orientação das folhas sobre a produção de grãos e índice de espigas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

De acordo com os objetivos desse trabalho, inicialmente serão relatados os resultados de publicações relacionados com a eficiência na interceptação e utilização da luz pela cultura do milho e os efeitos do aumento da densidade do plantio nessa eficiência. A seguir, aquelas que avaliam os efeitos da inclinação das folhas na produção de grãos em condições de campo.

2.1. Interceptação e utilização da radiação solar pela cultura em condições de campo

No processo fotossintético, a energia da radiação solar é utilizada para reduzir as moléculas de dióxido de carbono atmosférico a substâncias orgânicas de carbono. Essas substâncias são utilizadas para formar a estrutura orgânini

ca das plantas, incluindo a produção econômica das culturas.

A eficiência com que as culturas utilizam a energia solar radiante por unidade de área de solo, depende da eficiência da interceptação da luz incidente, combinada com a eficiência das reações fotoquímicas das folhas (DUNCAN, 1976). A eficiência da interceptação da luz, varia de acordo com o estadio de desenvolvimento da cultura. Existem, entretanto, diversas características da cultura que afetam a eficiência da interceptação da luz: a densidade de plantio (avaliada como índice de área foliar)*, orientação das folhas em relação à luz incidente, tamanho e orientação das folhas no interior da cultura e interceptação da luz pelos órgãos não fotossintéticos das plantas (MOCK e PEARCE, 1975). Outros fatores que também podem influenciar na interceptação da luz, são a refletividade das superfícies das folhas e do solo, as quais, conjuntamente com as características da cultura, irão determinar o albedo da superfície da folhagem (DUNCAN, 1976).

2.1.1. Eficiência das reações fotoquímicas das folhas

O milho pertence a um grupo de espécies denominado C_4 . As espécies desse grupo se caracterizaram por apre-

* O índice de área foliar (IAF) é definido como o quociente entre a área de folhas pela área de solo.

sentarem fotorrespiração reduzida ou ausente e fixação de CO_2 através dos ácidos dicarboxílicos, efetuando uma remoção muito rápida dos carboidratos produzidos nas folhas (BORGER, 1976). O ciclo dos ácidos dicarboxílicos é altamente eficiente na utilização da luz. A curva de resposta da fotossíntese à luz é quase linear, até a valores muito altos de radiação luminosa (TREMBATH e ANGUS, 1975). HESKETH e MUSGRAVE (1962), entretanto, relataram que as folhas de milho não foram completamente saturadas de luz, mesmo na intensidade da luz solar direta, e que a utilização mais eficiente da energia solar ocorre em níveis consideravelmente menores que a luz solar completa.

Em condições de cultivo, entretanto, a vantagem relativa da eficiência fotossintética das plantas C_4 sobre as C_3 (as quais fotorrespiram e atingem a máxima taxa fotossintética de 1/4 a 1/3 da intensidade da luz solar direta), é menor que ao nível de folhas isoladas, devido ao sombreamento das folhas inferiores e o aumento da importância da aerodinâmica, comparado à resistência das folhas à difusão de CO_2 (EVANS, 1976). As mais altas taxas fotossintéticas medidas na cultura de trigo (planta C_3) por métodos aerodinâmicos, foram levemente menores que aquelas para a cultura do milho (Lemon, 1967, Inove *et alii*, 1968, citados por EVANS, 1976).

Vários trabalhos recentemente revisados por EVANS (1976), demonstraram a existência de diferenças varie

tais na taxa fotossintética em ambos os grupos de espécies, C_3 e C_4 . Em milho, HEICHEL e MUSGRAVE (1969) estudaram sete cultivares de milho de região temperada, e encontraram taxas fotossintéticas variando de 21 ± 2 a 59 ± 3 mg de $CO_2 dm^{-2} h^{-1}$. Esses autores observaram uma heterose de 34% na taxa fotossintética de híbridos em relação à média das linhagens parentais. MOSS e MUSGRAVE (1971) praticaram cinco gerações de seleção divergente para alta e baixa taxa fotossintética em quatro linhagens de milho, e verificaram que a herdabilidade é alta, porém, os efeitos das maiores taxas fotossintéticas sobre a produção de grãos não puderam ser estabelecidas.

2.1.2. Estadio de desenvolvimento da cultura

No estadio inicial, o desenvolvimento da cultura se processa lentamente (EVANS, 1976). Nessa fase, somente uma pequena porcentagem da superfície do solo é coberta pela cultura. A interceptação da luz é, portanto, bastante baixa e a energia solar incidente é perdida na sua maior parte (WILLIAMS e JOSEPH, 1974). Watson (1971), citado por EVANS (1976), acredita ser esta a principal fonte de ineficiência dos sistemas de produção.

Após esse estadio inicial, ocorre um rápido aumento do índice de área foliar, mas o aumento é decrescente, sofrendo um declínio, o qual pode também ser muito rápido (E-

VANS, 1976). Durante esse período, a interceptação da luz é proximamente relacionada com o índice de área foliar (WILLIAMS *et alii*, 1968). Os assimilados produzidos durante o período de crescimento vegetativo da cultura, são utilizados na elaboração dos constituintes celulares da raiz e caule em crescimento, ou são armazenados (HOFSTRA e NELSON, 1969).

No florescimento, o índice de área foliar atinge o seu valor máximo (TOLLENAAR, 1977). Nesse estadio, a absorção de luz pela folhagem pode ser tomada como sendo aproximadamente exponencial (WILLIAMS e JOSEPH, 1974). Em outras palavras, cada camada da folhagem absorve uma proporção fixa de luz, tal que, as camadas superiores recebem uma maior fração da luz incidente que as camadas progressivamente inferiores. Assim, o movimento de assimilados dessas folhas para a espiga é mais rápido devido à maior intensidade de luz recebida no topo da folhagem (EVANS e WARDLAW, 1976). A pequena quantidade de matéria seca produzida pelas folhas inferiores, é devido à baixa intensidade de luz recebida por elas, causada pelo autossombreamento das folhas (HOYT e BRADFELD, 1962). O potencial de depósito de assimilados da espiga é, em alguma extensão, relacionado com o suprimento de assimilados durante essa fase (TOLLENAAR, 1977). É durante esse período também, que ocorre a formação de reservas que podem ser mobilizadas posteriormente para os grãos, em condições ambientais desfavoráveis (EVANS, 1976). Isso tem sido demonstrado em uma série

de experimentos recentemente revisados por D'AYALA VALVA (1979), em que a área fotossintética da planta foi artificialmente reduzida ou sombreada, durante o enchimento dos grãos.

A fotossíntese realizada após o período de florescimento, mais especificamente, durante o enchimento dos grãos, tem uma influência muito grande sobre a produção de grãos.

2.1.3. Densidade de plantio

A produção de grãos é proximamente relacionada com o índice de área foliar máximo atingido no florescimento (EVANS e WARDLAW, 1976). O índice de área foliar máximo pode variar com a variação na densidade do plantio. A área foliar por planta, não diminui na proporção inversa do aumento da densidade de plantio (DUNCAN, 1976). Portanto, nas cultivares atuais de milho, as quais possuem capacidade limitada ou ausente para formar porfilhos, o índice de área foliar máximo pode ser controlado pela variação na taxa de plantio e no espaçamento entre as linhas. Entretanto, a produção de grãos não aumenta com o aumento da densidade de plantio. Ela aumenta até que o índice de área foliar máximo atinja um valor de 3 a 4 (HICKS e STUKER, 1972), quando então atinge um platô, devido à interceptação de luz ser essencialmente completa, de modo que pouco aumento na taxa fotossintética é possível além

desse ponto (DUNCAN, 1976).

O efeito primário do aumento da densidade de plantio, sob condições de adequado suprimento de água e nutrientes, é o aumento da competição por luz devido ao sombreamento mútuo das folhas (WILLIAMS e JOSEPH, 1974).

Existem diferenças genotípicas com relação à tolerância ao aumento da densidade de plantio (LANG *et alii*, 1956; DUNCAN *et alii*, 1958; WOOLLEY *et alii*, 1962; RUTGER e CROWDER, 1967; GALVÃO *et alii*, 1969; GIESBRECHT, 1969; NOVAIS *et alii*, 1972; LEITE e PATERNIANI, 1973; RISSI *et alii*, 1976). Essa tolerância diferencial tem sido associada com a tolerância diferencial ao sombreamento (STINSON e MOSS, 1960; MOSS e STINSON, 1961; EARLEY *et alii*, 1966).

As principais características da planta associadas com o aumento da densidade de plantio, é a redução da produção por planta e o aumento de número de plantas estérteis (LANG *et alii*, 1956; WOODLEY *et alii*, 1962; RUTGER e CROWDER, 1967; GIESBRECHT, 1969; BUREN *et alii*, 1974; SMITH, 1978), causadas pelo aborto das espigas e sementes durante a fase de sua formação. A radiação interceptada por planta durante o período de florescimento, é o principal fator determinante da continuação do crescimento das espigas e sementes, os quais por sua vez, irão determinar o potencial de depósito de assimilados das plantas (TOLLENAAR, 1977). O aumento do número

de plantas estéreis promove a ocorrência da produção máxima de grãos em menores densidades de população e acelera a taxa da diminuição da produção de grãos com o aumento continuado da população de plantas.

Plantas prolíficas são mais tolerantes ao aumento da densidade de plantio (MOCK e PEARCE, 1975). Entretanto, sob tais condições, dificilmente algumas plantas produzem mais que uma espiga. O aborto das segundas espigas, sob condições adequadas de nutrição e umidade, é causada pelo sombreamento mútuo das folhas durante o período de florescimento (EARLEY *et alii*, 1966).

Uma característica bastante associada com a esterilidade, em condições de altas densidades de plantio, é o aumento do intervalo de tempo entre a emissão dos estilo-estigmas e a liberação dos grãos de pólen pelas anteras (DUNCAN *et alii*, 1958; WOOLLEY *et alii*, 1962; BUREN *et alii*, 1974; SMITH, 1978). MOSS e STINSON (1961), acreditam que o retardamento da emissão dos estilo-estigmas é devido ao efeito da sombra sobre o seu crescimento.

Os pendões das plantas, também podem concorrer para diminuir a interceptação da luz pela cultura. DUNCAN *et alii* (1967) relataram que 9% da insolação diária pode ser interceptada pelos pendões em plantios comerciais (50.000 plantas por hectare), e 18% em densidade de plantio duas vezes

maior. Esses autores calcularam que o sombreamento causado pelos pendões, poderia reduzir a fotossíntese das folhas em cerca de 10% na densidade de 50.000 plantas por hectare. O pólen acumulado sobre as folhas, também podem interferir com a utilização da luz pela cultura (WILLIAMS *et alii*, 1967).

2.2. Inclinação das folhas e interceptação de luz

À medida em que se aumenta a densidade de plantio, a competição por luz aumenta, e o limite à produção de grãos é imposto pela taxa fotossintética máxima atingida quando a interceptação de luz se torna completa (DUNCAN, 1976). Então, se fosse possível aumentar a penetração de luz no interior da cultura, de modo que se aumentasse a área foliar total recebendo uma maior intensidade de luz, a densidade de plantio ótima para a máxima produção de grãos poderia ser aumentada. A maior penetração de luz resultaria em uma maior atividade fotossintética, com o consequente aumento na quantidade de matéria seca produzida por unidade de área de solo (RUSSELL, 1972). A característica da planta que mais contribui para aumentar a penetração de luz no interior da cultura, é a inclinação da superfície das folhas em relação à luz incidente (WILLIAMS e JOSEPH, 1974).

O primeiro pesquisador a sugerir que a inclinação das folhas poderia ser um importante fator na produção de

grãos, foi Boysen Jensen (1932 e 1949), citado por TREMBATH e ANGUS (1975). Ele argumentou que culturas densas com folhas verticais poderiam fotossintetizar mais rapidamente que culturas com folhas horizontais. Em condições de campo, com grande parte da energia solar incidindo verticalmente, uma cultura com folhas verticais poderia utilizar mais eficientemente a luz, uma vez que ela seria mais uniformemente distribuída entre as suas folhas. Em um estudo teórico da interceptação de luz, Anderson (1966), citado por PEPPER *et alii* (1977), indicou que um menor nível de luz poderia ser recebido pelos cloroplastos quando as folhas tornam-se mais verticais, resultando em uma utilização mais eficiente da energia solar.

Monsi e Saeki (1953), citados por TREMBATH e ANGUS (1975), em um estudo teórico dos fatores afetando a taxa fotossintética das folhas, quantificaram as previsões de Boysen Jensen e mostraram que o efeito da inclinação das folhas sobre essas taxas, interagem fortemente com o índice de área foliar e intensidade de luz. Muitos outros estudos teóricos foram recentemente revisados por LOOMIS e WILLIAMS (1969) os quais concluíram que todos os modelos teóricos propostos, concordam amplamente em prever que em índices de área foliar maior que quatro, uma cultura com folhas inclinadas verticalmente irá ter maiores taxas fotossintéticas. Entretanto, em índice de área foliar maior que dois, a taxa fotossintética das culturas com folhas inclinadas horizontalmente

te será maior.

2.2.1. Inclinação das folhas e produção de grãos

A influência da inclinação das folhas sobre a produção de grãos nos cereais, tem sido estudada em diversas espécies, inclusive o milho.

Em milho, os primeiros resultados das pesquisas relacionadas com a demonstração da vantagem de cultivares com folhas verticais sobre a produção de grãos, em condições de campo, foram bastante promissores. Assim, usando duas versões isogênicas de um híbrido simples contrastantes com relação à orientação das folhas (versão com folhas horizontais e versão com folhas verticais, obtida pela introdução do gene "liguleless-2"), PENDLENTON *et alii* (1968) obtiveram uma vantagem na produção de grãos para o tipo com folhas verticais de cerca de 41%. A densidade de população utilizada foi medianamente alta (59.304 plantas por hectare). A menor produção de grãos da versão com folhas horizontais foi associada com o maior número de plantas estéreis que ela apresentou. Entretanto, o híbrido utilizado é bastante intolerante ao aumento da densidade de plantio. Como esse comportamento não é regra geral entre as cultivares de milho, a resposta observada provavelmente superestima a resposta média para o milho (TREMBATH e ANGUS, 1975). Mais tarde, esse mesmo experimento foi

repetido por WHIGHAM e WOODLEY (1974) e a resposta foi inversa, isto é, o tipo com folhas horizontais produziu 10% mais que o tipo com folhas verticais. A discrepância entre esses resultados pode ser explicada em parte, pelo maior espaçamento entre as linhas utilizado nesse último estudo.

Em outro experimento, PENDLENTON *et alii* (1968), posicionaram as folhas de um híbrido comercial, as quais naturalmente eram horizontais, em uma posição vertical, através da sua amarração no colmo com uma fita de polietileno transparente. Foram aplicados dois tratamentos: todas as folhas da planta posicionadas verticalmente ou somente as folhas acima da espiga. Os tratamentos foram aplicados durante o período de florescimento e mantidos até a maturação dos grãos. As produções de grãos desses tratamentos foram 7% a 14% superiores à do controle, respectivamente.

Um experimento similar conduzido no CIMMYT (1970), mostrou que aumentando a inclinação das folhas acima da espiga de uma cultivar anã, houve um aumento de 8% na produção de grãos.

As pesquisas que se seguiram, visaram a comprovação da hipótese de MONSI e SAEKI (1953). Assim, HICKS e STUKER (1972) avaliaram dezoito híbridos com diferentes inclinações de folhas, em duas amplitudes diferentes de densidade de plantio (de 39.520 a 88.920 e de 64.220 a 113.620 plantas por

hectare). A correlação entre ângulo foliar e produção de grãos foi levemente negativa para a amplitude de densidade de plantio mais baixa, e tenderam à zero na amplitude da densidade de mais alta. Esses resultados indicam que altas produções e folhas horizontais são mais relacionadas em baixas densidades de plantio. Quando esses híbridos foram agrupados em três classes de orientação de folhas (grupo com folhas verticais, intermediárias e horizontais), eles não mostraram resposta diferencial ao aumento da densidade de plantio.

RUSSELL (1972) comparou dois grupos de dialélicos, um formado com linhagens de folhas verticais e o outro com linhagens com folhas horizontais, em dois espaçamentos entre linhas e três taxas de plantio dentro de cada espaçamento. Em média para as três densidades, o grupo de dialélicos formado por linhagens com folhas horizontais produziu 9% e 7,5% mais grãos que o grupo formado por linhagens com folhas verticais, nos espaçamentos de 81 cm e 102 cm, respectivamente. As respostas lineares da produção de grãos ao aumento da densidade de plantio, foram 0,35 e 2,70 para os grupos de folhas verticais e horizontais, respectivamente.

Os resultados obtidos em uma grande amplitude de densidades de plantio por WINTER e OHLROGGE (1973), com um estudo de posicionamento das folhas numa posição mais vertical, em uma cultivar com folhas naturalmente horizontais, demonstraram claramente a relação esperada entre produção de

grãos e densidade de plantio. Em baixas densidades, as cultivares com folhas posicionadas verticalmente, produziram menos que a com folhas horizontais. Em altas densidades, porém, a produção do tipo com folhas verticais foi maior. Esses resultados foram explicados pelas diferenças no número de plantas estéreis entre os tratamentos. Quando a produção dos dois tipos foram comparadas considerando cada tipo em sua densidade ótima, a produção do tipo vertical foi superior nos três anos em que os testes foram conduzidos, porém, por margens não significativas.

Em um outro experimento executado por WHIGHAM e WOOLLEY (1974), as duas versões isogênicas obtidas por PENDLETON *et alii* (1968) foram avaliadas em quatro densidades de plantio (de 39.305 a 88.959 plantas por hectare). Os resultados obtidos não indicaram diferenças significativas entre as duas versões em nenhuma densidade de plantio. Entretanto, a produção de grãos por unidade de área foliar, indicou que o tipo com folhas verticais foi mais eficiente em todas as densidades estudadas. A menor produção dos tipos com folhas verticais, foi explicada pela menor área foliar obtida por essa versão em todas as densidades de plantio.

Resultados similares foram obtidos por ARIYANA YAGAN *et alii* (1974), quando compararam quatro gerações de seleção fenotípica bidirecional para ângulo foliar, praticada em uma variedade de milho, em quatro densidades de plantio. As

variações nas produções de grãos atribuídas à diferenças no ângulo foliar foram pequenas e não significativas, na amplitude de densidades de plantio estudada.

SHETTY *et alii* (1976) desenvolveram quatro versões isogênicas para quatro linhagens, contrastantes quanto à altura da planta e orientação das folhas. As versões isogênicas de cada linhagem foram intercruzadas obtendo-se quatro populações com as seguintes versões: planta alta com folhas horizontais, planta alta com folhas verticais, planta baixa com folhas horizontais e planta baixa com folhas verticais. As versões de porte baixo e as com folhas verticais foram obtidas pela introdução dos genes br_2 e lg_2 , respectivamente. Para ambas as versões de altura, a com folhas horizontais produziram 16,2% e 14,4% mais que as com folhas verticais, nas densidades de 60 e 90 mil plantas por hectare, respectivamente. Entretanto, as versões com folhas verticais mostraram uma maior resposta (6,5%) à maiores densidades de plantio que os tipos com folhas horizontais (4,6%).

PEPPER *et alii* (1977) compararam nove linhagens obtidas da mesma cultivar agrupadas em três classes de orientação de folhas (vertical, intermediária e horizontal), em três densidades de plantio. Na densidade mais alta, o grupo de linhagens com folhas verticais produziram significativamente mais grãos, que os outros dois grupos. Nas densidades mais baixas, essa vantagem não se verificou.

Outro experimento comparando híbridos isogênicos, versão horizontal e versão vertical (lg_2), foi conduzido por FRÖLICH *et alii* (1977), na densidade de 100 mil plantas por hectare em dois locais e dois anos. O tipo vertical teve uma vantagem na produção de grãos (10,4%) em apenas um dos anos. Em outro experimento, três versões isogênicas (versão com folhas horizontais e com folhas verticais, lg_2 e Lg_3 de cinco híbridos, foram comparados em três densidades de plantio (71; 100 e 128 mil plantas por hectare). Em média, os tipos com folhas horizontais não diferiram do tipo lg_2 , nas três densidades. A versão Lg_3 , entretanto, produziu 8% menos que a versão horizontal. A interação inclinação de folhas x densidade de plantio não foi significativa.

LAMBERT e JOHNSON (1978) compararam três versões isogênicas de dois híbridos (versão horizontal e versões verticais, lg_1 e lg_2), em três densidades de plantio (60, 75 e 90 mil plantas por hectare). Seus resultados indicaram que o tipo lg_2 produziu 6,7% e 12,9% mais que o tipo horizontal nas densidades de 75 e 90 mil plantas por hectare, respectivamente. Nessas mesmas densidades, a produção do tipo lg_1 não diferiu significativamente das produções do tipo horizontal. O aumento do número de plantas estéreis dos tipos horizontal e lg_1 com o aumento da densidade de plantio, explicam em parte esses resultados. Em um outro experimento, essas mesmas versões isogênicas de outros três híbridos simples, foram ava

liados em um experimento de espaçamentos. Os espaçamentos utilizados foram: $50,8 \text{ cm} \times 25,4 \text{ cm} = 1290 \text{ cm}^2$; $50,9 \text{ cm} \times 12,7 \text{ cm} = 645 \text{ cm}^2$ e $25,4 \text{ cm} \times 25,4 \text{ cm} = 645 \text{ cm}^2$. A produção de grãos da versão lg_2 foi significativamente maior que o das outras duas, nos dois espaçamentos de 645 cm^2 . Essas diferenças corresponderam à 48,9% e 49,7% com relação à versão horizontal, e 45,3% e 42,4% com relação à versão lg_1 , nos espaçamentos de $50,9 \text{ cm} \times 12,7 \text{ cm}$ e $25,4 \text{ cm} \times 25,4 \text{ cm}$, respectivamente. O aumento do número de plantas estéreis com o aumento da densidade foi associado com essas diferenças.

A grande discrepância dos resultados obtidos nessas pesquisas, é explicada por TREMBATH e ANGUS (1975), como sendo devido à diferentes graus de sensibilidade ao auto-sombreamento entre as cultivares avaliadas. MOCK e PEARCE (1975) argumentam ainda que, os genótipos avaliados nesses estudos não possuem o tipo correto de orientação das folhas, isto é, folhas rígidas que são erectas em todo o seu comprimento; uso de baixas densidades de plantio não permitindo a obtenção de índices de área foliar suficientemente altos para que os genótipos com folhas verticais expressem o seu completo potencial de produção; amplitudes de ângulos foliares insuficientes para permitir a diferenciação da orientação das folhas; que a orientação das folhas não é a única característica que limita a produção em altas densidades. PEPPER *et alii* (1977), acreditam também que os espaçamentos entre as linhas que estão sendo utilizados são muito largos.

Em outras espécies, incluindo o arroz e outros cereais de clima temperado, já está bem estabelecida a influência altamente favorável da inclinação vertical das folhas sobre a produção de grãos.

JENNINGS (1964) relatou que diferenças morfológicas entre variedades de arroz cultivadas em regiões tropicais e temperadas, são responsáveis pelas diferenças de produtividade observadas entre essas regiões. Nas regiões tropicais, as cultivares utilizadas (variedades *indica*, de baixa produtividade) são altas e possuem folhas compridas, orientadas horizontalmente. As cultivares das regiões temperadas (tanto o tipo *indica* como o *japonica*, de alta produtividade) possuem porte baixo com folhas curtas, estreitas e orientadas verticalmente.

TANNER *et alii* (1966) classificou cerca de 300 cultivares de cevada, trigo e aveia, com relação à verticalidade e largura de suas folhas. Depois, de acordo com a produtividade, essas cultivares foram classificadas em três categorias: de produtividade alta, média e baixa. Usando somente a classificação morfológica, esses autores identificaram corretamente 48 dos 50 tipos de alta produtividade. A associação entre a verticalidade das folhas e produção foi bastante próxima. Em um outro experimento, TANNER (1969) mostrou que um grupo de cultivares de cevada escolhido por uma alta capacidade de produção, tinham folhas estreitas e verticais, enquanto

que outros grupo escolhido por sua baixa capacidade de produção, tinham folhas largas e horizontais.

Em um experimento similar em conceito aquele de Pendlenton *et alii* (1968) e Tanaka *et alii* (1969), citados por TREMBATH e ANGUS (1975), amarraram pequenos pesos nas pontas das folhas de uma cultivar de arroz com folhas naturalmente verticais, tornando-as horizontais, durante o período de enchimento dos grãos. As parcelas tratadas produziram 33% menos que o controle. O componente de produção mais afetado pela manipulação das folhas, foi a porcentagem de grãos maduros. Tanaka e Matsushima (1971), citados por TREMBATH e ANGUS (1975) demonstraram que a maturação dos grãos em arroz é particularmente sensível ao sombreamento.

CHANG e TAGUMPAY (1970) calcularam as correlações genéticas entre a produção de grãos e vários caracteres morfológicos em 139 linhagens de arroz, selecionadas ao acaso em duas categorias contrastantes quanto à arquitetura das plantas. Todas as correlações calculadas dentro dos três grupos de altura, mostraram que a alta produção de grãos foi associada com a verticalidade das folhas.

YOSHIDA (1972) relatou que o ângulo foliar tem sido usado com sucesso como um critério de seleção para o melhoramento de arroz com alta capacidade produtiva, no "International Rice Research Institute". Todas as variedades libe-

.radas pela Instituição, possuem folhas verticais.

ANGUS *et alii* (1972) compararam duas cultivares de cevada no sudeste da Austrália, diferindo grandemente com relação à inclinação das folhas, porém, com as curvas da resposta da fotossíntese à luz bastante similares. Seus resultados mostraram que o tipo com folhas verticais produziu menos que o tipo com folhas horizontais, nas duas densidades de plantio utilizadas. Entretanto, as elevações solares durante o período de inverno nessa região são tais, que a inclinação das folhas não tem nenhum efeito pronunciado sobre a produção de grãos (TREMBATH e ANGUS, 1975).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

Foram utilizados, no presente trabalho, três populações contrastantes quanto à orientação de suas folhas as "populações arquitetura", e duas cultivares comerciais, incluídas nos ensaios apenas com a finalidade de se avaliar o nível de produtividade das "populações arquitetura".

A pesquisa propriamente, teve início com a síntese das três "populações arquitetura", uma população com folhas "horizontais", uma com folhas "sem lígula" e uma com folhas "espêtadas", à partir de uma população básica denominada de "composto arquitetura". Esse composto foi sintetizado no Instituto de Genética da ESALQ/USP, em Piracicaba. Os materiais que entraram na sua composição e a metodologia utilizada na sua síntese, assim como na das "populações arquitetura",

serão descritas a seguir.

- "*Composto Arquitetura*"

Os materiais que entraram na sua composição foram os seguintes:

- População ESALQ-C: sintetizado no Instituto de Genética da ESALQ/USP, em Piracicaba, a partir do cruzamento entre as populações ESALQ-A com a população ESALQ-B. A população ESALQ-A foi obtida pela combinação das populações WP-4, WP-7 e WP-25. A população ESALQ-B foi obtida pela combinação das populações WP-1, WP-12, WP-17, WP-24, WP-33, WP-34 e Piracar. Para maiores informações sobre a metodologia na síntese dessas populações consultar: Relatório Científico do Instituto de Genética (ESALQ/USP), nº 11, p. 108-113, 1977. As plantas da população ESALQ-C apresentam porte alto e suas folhas são orientadas horizontalmente.

- Linhagens de folhas "espetadas": tipo de grão duro amarelo. Obtida no Instituto de Genética da ESALQ/USP. Apresenta plantas com folhas rígidas e erectas em todo o seu comprimento. O ângulo de inserção das folhas no colmo, porém, é normal. Esse caráter é de base provavelmente poligênica.

- Linhagens com folhas "sem lígula" (lg_2 lg_2): introduzida dos Estados Unidos da América do Norte, não é a-

daptado às nossas condições. Foi utilizada somente como fonte de gene "liguleless-2" (lg_2). Esse gene recessivo promove a ausência da lígula nas folhas, tornando mais agudo o seu ângulo de inserção no colmo. As folhas, no entanto, não são rígidas, mantendo a sua flacidez.

- Linhagens com folhas "sem lígula" (Lg_3 Lg_3): introduzida dos Estados Unidos da América do Norte, não é adaptada às nossas condições. Foi utilizada apenas como fonte do gene "liguleless-3". A manifestação fenotípica desse gene dominante, é muito semelhante ao do lg_2 .

- População braquítica (br_2 br_2): produzida pelo cruzamento de uma linhagem braquítica (br_2 br_2) originária do México, com a variedade Piramex. As plantas homozigóticas para esse gene recessivo apresentam os internódios mais curtos que o das plantas normais. Com isso, há uma redução da sua altura, sem afetar sensivelmente os outros órgãos da planta. Suas folhas são orientadas horizontalmente. Esse material foi sintetizado no Instituto de Genética da ESALQ e deu origem à cultivar Piranão.

A síntese do "composto arquitetura" foi iniciada no ano agrícola de 1968/69, com o cruzamento da população ESALQ-C com as linhagens. Seguiram-se dois ciclos de retrocruzamentos para a população ESALQ-C. As porcentagens do germoplasma da população ESALQ-C representativa da constituição

genética das plantas obtidas pelos retrocruzamentos, são apresentadas por ZINSKY e VENCOVSKY (1971). Nos três anos seguintes, efetuou-se a recombinação desse material em lotes isolados, com a eliminação das plantas agronomicamente indesejáveis antes do florescimento. O material foi denominado "composto arquitetura". Esse composto se caracteriza por apresentar plantas manifestando o fenótipo de cada gene introduzido, separadamente (lg_2 , Lg_3 , br_2 , para folhas normais e para folhas espetadas), assim como plantas manifestando características em todas as combinações possíveis entre eles. Apresenta uma variabilidade genética para produção bastante ampla, o que torna muito promissor para ser utilizado em programas de melhoramento que visem a obtenção de linhagens ou populações com a "arquitetura" das plantas modificada.

- "Populações arquitetura"

No ano agrícola de 1974/75, promoveu-se a autofecundação das melhores plantas com porte alto do "composto arquitetura", que exibiam separadamente as características "sem lígula", folhas "horizontais" e folhas "espetadas". No ano seguinte, após outra autofecundação, obteve-se as progênies S_2 dessas plantas. Para a síntese das três "populações arquitetura", seis linhagens S_2 de cada tipo de orientação de folhas, foram inter cruzadas no ano agrícola de 1976/77. No ano seguinte, efetuou-se duas gerações de recombinação em ca-

da material formado, sendo a primeira através de polinização manual e a segunda em lotes isolados. As três populações então formadas, apresentam as seguintes características:

- População com folhas "horizontais": plantas com porte alto e com as folhas flácidas, inseridas no colmo a um ângulo agudo.

- População com folhas "sem lígula": plantas com porte alto e com as folhas flácidas, porém, inseridas no colmo com um ângulo muito pequeno.

- População com folhas "espetadas": plantas de porte alto com as folhas erectas e rígidas em todo o seu comprimento. O seu ângulo de inserção no colmo, entretanto, é normal.

No restante desse trabalho, essas populações serão referidas como tipo "normal", tipo "sem lígula" e tipo "espetado", respectivamente.

- *Cultivares comerciais*

- Piranão: apresenta plantas de porte baixo com folhas orientadas horizontalmente. Foi sintetizada no Instituto de Genética da ESALQ/USP, a partir do cruzamento entre um material de germoplasma tuxpeño, homozigoto para o gene br_2 , com a variedade Piramex. Apresenta boa produtividade

e é relativamente resistente ao acamamento. É tolerante ao aumento da densidade de população de plantas e o espaçamento entre linhas recomendado em plantios comerciais é de 75 centímetros (LEITE e PATERNIANI, 1973; RISSI *et alii*, 1976).

- Cargill 5005-M: híbrido duplo comercial produzido pela firma Cargill. Tipo de grão dentado amarelo. Apresenta plantas de porte alto, com as folhas orientadas horizontalmente.

3.2. Métodos

3.2.1. Condução do experimento

Com a finalidade de se avaliar os efeitos da inclinação das folhas sobre a produção de grãos e índice de espigas, em diferentes espaçamentos entre linhas, foram instalados quatro experimentos na estação experimental de Anhembi, em Piracicaba. Os experimentos distinguem-se por apresentarem diferentes espaçamentos entre as linhas. Os espaçamentos utilizados foram 0,60; 0,80; 1,00 e 1,20 metros. A distância entre as covas foi de 0,20 metros e mantida constante nos quatro espaçamentos.

O delineamento utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados com cinco repetições. Cada parcela con-

sistiu de cinco fileiras de dez metros de comprimento. O plantio foi realizado em 7 de novembro de 1978. Foram semeadas três sementes por cova, sendo deixado após o desbaste, apenas uma planta. A adubação de plantio dos quatro experimentos foi feita no sulco, com aproximadamente 35 gramas da fórmula 4 - 14 - 8 por metro linear de sulco. A adubação de cobertura foi realizada aos 45 dias após o plantio, com aproximadamente 30 gramas de sulfato de amônia por metro linear de sulco. Na área experimental, foi aplicado calcário na base de 2 ton/ha.

A colheita foi realizada nas três fileiras centrais de cada parcela. Por ocasião da pesagem dos grãos, determinou-se o seu teor de umidade, utilizando-se para isso de um aparelho "Steinlite" modelo 400 G. Com os valores obtidos, as produções de grãos de cada parcela, em todas as repetições, foram corrigidas para a umidade de 15,5% constantes para todas as cultivares, utilizando-se a seguinte fórmula:

$$P_{15,5\%} = \frac{PC (100 - U)}{(100 - 15,5)}$$

onde:

$P_{15,5\%}$ = peso de campo corrigido para 15,5%
de umidade;

PC = peso de campo observado;

U = Umidade observada em porcentagem;

$(100-15,5)$ = expressa a matéria seca quando a umidade é de 15,5%.

O índice de espigas foi determinado como o quociente entre o número total de espigas produzidas por parcela e o "stand" final.

3.2.2. Análise estatística dos dados

Os dados de produção de grãos, em toneladas por hectare, foram analisados com base no total das parcelas. Os dados relativos ao índice de espigas e "stand" final foram transformados para a escala $V\bar{X}$ (STEEL e TORRIE, 1960). As análises da variância foram conduzidas de acordo com o modelo para o delineamento em blocos inteiramente casualizados, conforme indicado por STEEL e TORRIE (1960). Os efeitos das cultivares e espaçamentos foram considerados fixos, e o de repetições, aleatórios. O efeito de espaçamentos na análise conjunta foi considerado fixo. Assim, para obtenção do teste F para espaçamentos, esses efeitos foram testados contra o efeito de repetições dentro de espaçamentos. Todos os outros efeitos foram testados contra o erro médio.

Para o desdobramento dos graus de liberdade referentes ao efeito das cultivares, as cinco cultivares testadas foram divididas em dois grupos: o grupo de testemunhas ,

compreendendo a cultivar Piranão e o híbrido C 5005-M, e o grupo "arquitetura", compreendendo os tipos "normal", "sem lígula" e "espetado". Esse grupo foi ainda sub-dividido entre grupo com "arquitetura modificada" (tipos "sem lígula" e "espetado") e tipo "normal".

Para a produção de grãos e o índice de espigas, foi conduzida como complementação da análise da variância, uma análise de regressão, para verificar o comportamento relativo das cultivares com a variação no espaçamento entre as linhas, seguindo o método indicado por PIMENTEL GOMES (1973).

Com a finalidade de se avaliar o efeito do "stand" final sobre a produção de grãos, foi realizada a análise da covariância para os quatro espaçamentos, de acordo com o modelo indicado por PIMENTEL GOMES (1973).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Material experimental

A avaliação do efeito da inclinação das folhas sobre a produção de grãos em condições de campo, requer a demonstração direta desses efeitos sobre a produção de "per se". Portanto, os materiais mais indicados seriam os que só diferissem quanto à orientação das folhas, mas que fossem iguais em todas as outras características. TREMBATH e ANGUS (1975) discutindo sobre o melhor material experimental a ser utilizado em tais estudos, concluíram que híbridos ou linhagens isogênicas são os mais indicados. Entretanto, esses materiais possuem uma "base genética" muito restrita, a qual pode interagir com o gene introduzido, e afetar a produção de grãos. Essa interação foi demonstrada em vários trabalhos (PENDLENTON *et alii*, 1968; LAMBERT e JOHNSON, 1978). Além disso, tais

genes podem estar ligados a outros, e essas ligações dificilmente são quebradas em tais materiais. SHETTY *et alii* (1976) verificaram a ocorrência de tais ligações com o gene "liguleless-2".

Alguns trabalhos (HICKS e STUKER, 1972); RUSSELL, 1972) compararam linhagens bastante divergentes, agrupadas em classes distintas de inclinação de folhas. Entretanto, o agrupamento de linhagens com diferentes graus de tolerância em plantios densos, dentro de uma mesma classe de inclinação, pode mascarar o seu efeito sobre a produção de grãos.

O tipo de material que tem dado melhores resultados, são os relacionados com a manipulação mecânica das folhas (PENDLETON *et alii*, 1968; Tanaka *et alii*, 1969, citados por TREMBATH e ANGUS, 1975; CIMMYT, 1970; WINTER e OHLROGGE, 1973). Nesse caso, não existem diferenças genéticas que mascaram o efeito da inclinação das folhas sobre a produção. Entretanto, TREMBATH e ANGUS (1975) acreditam que esses tratamentos provocam uma diminuição de movimento das folhas, e que pode promover efeitos colaterais, como por exemplo, diminuição na difusão do CO_2 .

No presente trabalho, objetivou-se a comparação de populações com a mesma "base genética", contrastantes apenas quanto à orientação de suas folhas. Em tais materiais, há a possibilidade de quebra de ligações indesejáveis, e os efeitos decorrentes da interação dos genes introduzidos com

o genótipo das populações seriam reduzidos. Entretanto, apenas seis linhagens de cada tipo de orientação foliar foram utilizadas para a síntese das "populações arquitetura". Assim, além da orientação das folhas, elas diferem em várias outras características.

4.2. Efeitos da inclinação das folhas e espaçamentos sobre o índice de espiga

O índice de espiga é uma característica que fornece uma boa indicação do número de plantas estéreis. As análises da variância referentes à esse caráter para os quatro espaçamentos, são apresentados na Tabela 2. As médias das cinco cultivares são apresentadas na Tabela 7. No espaçamento de 0,60 metros, a análise indicou diferenças altamente significativas entre as médias dos índices de espiga das "populações arquitetura" (Tabela 2). A média do tipo "normal" (0,63) foi menor que as das populações com "arquitetura modificada" (0,76) (Tabela 7). Entretanto, a análise não detectou diferenças entre essas médias no espaçamento de 0,80 metros. As médias foram 0,91 para o tipo "sem lígula", 0,87 para a "espetada" e 0,83 para o "normal" (Tabela 7). O teste de Tukey, no entanto, indicou uma diferença entre o tipo "normal" e o tipo "sem lígula", nesse espaçamento (0,80 metros).

No espaçamento de 1,00 metro, as médias das

"populações arquitetura" foram semelhantes: 0,94, 0,91 e 0,93 para os tipos "sem lígula", "espetada" e "normal", respectivamente (Tabela 7). Os resultados obtidos pela análise para o espaçamento de 1,20 metros foram similares aos de 0,80 metros (Tabela 2). Os índices médios de espiga foram 1,02 para o tipo "sem lígula" que não diferiu da "espetada" (0,98), mas foi significativamente maior que a da "normal" (0,94). Esses resultados concordam com os obtidos por PENDLENTON *et alii* (1968), WINTER e OHLROGGE (1973), SHETTY *et alii* (1976) e LAMBERT e JOHNSON (1978).

Observa-se pela Tabela 7, que nos espaçamentos de 0,60 e 0,80 metros, os índices de espiga das populações com "arquitetura modificada" foram maiores que o do tipo "normal". Entretanto, no espaçamento de 1,00 metro, essas diferenças foram pequenas. O aumento da densidade de plantio através da diminuição do espaçamento entre linhas, promove um aumento da competição por luz entre as plantas, causado pelo autossombreamento das folhas (WILLIAMS e JOSEPH, 1974). Na época do florescimento, a radiação interceptada por planta é o principal fator que determina o crescimento das espigas (TOLLENAAR, 1977). Embora a quantidade de radiação solar que penetrou através da folhagem não tenha sido medida nessa pesquisa, observou-se que nos espaçamentos de 0,80 e 0,60 metros, uma grande quantidade de luz penetrou nas parcelas dos tipos com "arquitetura modificada", atingindo o solo. Nas parcelas

do tipo "normal", o sombreamento do solo foi total nesses dois espaçamentos. A maior quantidade de luz recebida pelos tipos com "arquitetura modificada" promoveu uma redução do número de plantas estéreis. No espaçamento de 1,00 metro, entretanto, o tipo "normal" também permitiu que uma grande quantidade de luz penetrasse através da sua folhagem, o que promoveu o crescimento de um maior número de espigas. Essas observações estão de acordo com os resultados experimentais obtidos por SHETTY *et alii* (1976); LAMBERT e JOHNSON (1978) e PEPPER *et alii* (1977).

O Piranão nada mais é do que uma cultivar com a arquitetura da planta modificada. O seu porte mais baixo, teóricamente, diminuiria os efeitos da competição por luz em condições de espaçamentos mais estreitos. Entretanto, comparando-se o seu índice de espiga com os das populações com "arquitetura modificada" (Tabela 7), verifica-se que ele foi significativamente menor nos quatro espaçamentos estudados. Esses resultados concordam com os obtidos por SHETTY *et alii* (1976), os quais acreditam que a condensação dos internódios promovido pelo gene br_2 , pode resultar em um considerável aumento no número de folhas por unidade de altura de planta, e que isso pode levar a uma grande competição por luz entre as suas folhas, resultando em um maior número de plantas estéreis.

O híbrido C 5005-M, nos espaçamentos de 0,60 e

0,80 metros, apresentou um menor índice de espigas que os tipos com "arquitetura modificada" (Tabela 7). Essas diferenças não foram significativas. Nos dois espaçamentos mais largos (1,00 e 1,20 metros), no entanto, a sua média foi superior por margens significativas. Embora esse material apresente plantas altas e folhas orientadas horizontalmente, ele provavelmente foi selecionado para prolificidade e, isso deveria lhe conferir uma maior estabilidade em plantios mais densos. Entretanto, a sua resposta a diminuição do espaçamento mostra que ele é bastante sensível ao sombreamento (Figura 3).

A análise da variância conjunta para os quatro espaçamentos, relativa ao caráter índice de espigas é apresentada na Tabela 5. Seus resultados indicaram diferenças altamente significativa entre as médias das cultivares (Tabela 7). Não se detectou diferença significativa entre as médias das populações com "arquitetura modificada". O teste de Tukey, no entanto, indicou uma diferença entre a média do tipo "sem lígula" e a do "normal". As médias foram 0,91, 0,88 e 0,83 para os tipos "sem lígula", "espetado" e "normal", respectivamente (Tabela 7). Essa diferença se deve em grande parte, à influência da inclinação das folhas sobre o índice de espiga. A média do híbrido C 5005-M (0,93) não diferiu significativamente das populações com "arquitetura modificada", sendo, porém, maior que a do Piranão (0,80) e do tipo "normal" (0,83) (Tabela 7).

Os espaçamentos tiveram um efeito altamente

significativo sobre o índice de espigas (Tabela 5). Entretanto, as respostas das cultivares à variação do espaçamento foram diferentes. Na Tabela 10 são apresentados os resultados da análise da regressão para as cinco cultivares estudadas. As respostas das populações com "arquitetura modificada" e do híbrido C 5005-M ao aumento do espaçamento, foram lineares, enquanto que as do Piranão e do tipo "normal" foram quadráticas (Figura 3). Entre as "populações arquitetura", o tipo "normal" sofreu uma maior influência da diminuição do espaçamento com relação ao caráter índice de espigas que os tipos com "arquitetura modificada" (Figura 3). Relativamente, ele apresentou a maior diminuição no índice de espigas, com a diminuição do espaçamento entre as linhas. As respostas dos tipos com "arquitetura modificada" foram bastante semelhantes (Figura 3).

Entre as testemunhas, na amplitude de espaçamentos estudadas, o híbrido C 5005-M sofreu uma influência maior da diminuição do espaçamento, que a cultivar Piranão, para o caráter índice de espigas (Figura 3). No entanto, ambas as cultivares foram bastante intolerantes à diminuição do espaçamento.

A interação cultivares x espaçamentos foi altamente significativas (Tabela 5), indicando que houve uma mudança no comportamento relativo das cultivares com a variação no espaçamento entre as linhas. Esse resultado foi prome

vido principalmente pelo comportamento das duas testemunhas , o Piranão e o C 5005-M, que foram mais afetados negativamente com a diminuição do espaçamento (Figura 3). A interação arquitetura x espaçamento não foi significativa (Tabela 5). Esses resultados mostram a intolerância das duas testemunhas à diminuição do espaçamento.

4.3. Efeito do "stand" final sobre a produção de grãos

As análises da variância referentes aos dados de "stand" final para os quatro espaçamentos, encontram-se na Tabela 3. As populações médias para as cinco cultivares são apresentadas na Tabela 8. Para os espaçamentos de 0,60, 0,80 e 1,20 metros, as análises não detectaram significância entre as médias das cultivares. Entretanto, no espaçamento de 1,00 metros, a análise detectou uma diferença altamente significativa.

Com a finalidade de se avaliar a influência de "stand" final sobre a produção de grãos, foram realizadas as análises da covariância entre essas duas características, para os quatro espaçamentos. Nenhum valor de F foi significativo, para as médias das cultivares ajustadas. Assim, não se efetuou a correção da produção de grãos para "stand" nesse trabalho.

4.4. Efeitos da inclinação das folhas e espaçamentos entre linhas sobre a produção de grãos

As análises da variância referentes aos dados de produção de grãos para os quatro espaçamentos, são apresentados na Tabela 1. As médias das cinco cultivares encontram-se na Tabela 6. Entre as "populações arquitetura", os tipos "sem lígula" e "espetado" produziram 17,5% e 5,8% mais grãos que o tipo "normal", no espaçamento de 0,60 metros. Essas diferenças corresponderam à 0,44 t/ha e 0,15 t/ha, respectivamente (Tabela 6). A análise, no entanto, não detectou significâncias entre essas diferenças (Tabela 1). No espaçamento 0,80 metros, as médias de produção de grãos dos tipos "sem lígula" e "normal" foram semelhantes (3,57 t/ha e 3,50 t/ha, respectivamente). O tipo "espetado", porém, produziu 17,7% menos que os outros. Essa diferença correspondeu à 0,70 t/ha. A análise não detectou essa diferença. Os valores de coeficiente de variação (18,7%) e quadrado médio residual, foram altos nesse experimento.

Durante o período de florescimento, ocorreu uma deficiência hídrica, que provavelmente afetou mais adversamente as populações com "arquitetura modificada". Embora não se tenha tomado dados de florescimento, pode-se constatar que os tipos "sem lígula" e "espetado" foram um pouco mais precoces que o tipo "normal". Assim, como a deficiência hídrica ocorreu no início do florescimento das populações com

"arquitetura modificada", o número de espigas por elas formadas provavelmente não foi afetada, uma vez que o período de seca ocorreu após a sua formação. Entretanto, sob tais condições, pode haver o dessecamento dos estilos-estigmas e mesmo interferência no crescimento dos tubos polínicos, com a consequente redução no número de sementes maduras formadas. Cinco dias após o florescimento dos tipos com "arquitetura modificada" haviam iniciado o florescimento, o tipo "normal" estava iniciando a emissão dos estilos-estigmas. Foi então feita uma irrigação na área dos experimentos, o que provavelmente favoreceu a população com folhas "normais". O mesmo provavelmente ocorreu com as duas cultivares comerciais, uma vez que elas floresceram ainda mais tarde que a tipo "normal".

No espaçamento de 1,00 metro, a produção média de grãos do tipo "normal" foi significativamente maior que as dos tipos "sem lígula" e "espetada" em 17,2% e 23,1%, respectivamente, a despeito de seus índices de espigas serem bastante semelhantes. Esses resultados concordam com os obtidos por SHETTY *et alii* (1976), os quais concluíram que os tipos com folhas horizontais utilizaram mais eficientemente a luz nesse espaçamento. Nessas condições, a interceptação da luz é mais importante que a sua penetração nas folhas inferiores. No espaçamento de 1,20 metro, essas diferenças foram desprezíveis. A produção de grãos do tipo "normal" em relação aos tipos com "arquitetura modificada", praticamente se equipararam

nesse espaçamento (Tabela 6). Os resultados obtidos nesses experimentos, estão de acordo com os de WINTER e OHLROGGE (1973) e LAMBERT e JOHNSON (1978).

Comparando-se o Piranão com as populações com "arquitetura modificada", verifica-se que a sua produção de grãos foi superior à do tipo "espetado" em 10%, 9,7% e 21% nos espaçamentos de 0,60, 0,80 e 1,00 metros, respectivamente (Tabela 6). Entretanto, não se detectou significância para essas diferenças em nenhum desses espaçamentos (Tabela 1). Com relação ao tipo "sem lígula", o seu comportamento foi muito variável. Assim, no espaçamento de 0,60 metros, as suas produções de grãos se equipararam, enquanto que no de 0,80 metros, a produção do Piranão foi 12% menor. Esse resultado concorda com o obtido por SHETTY *et alii* (1976), os quais compararam quatro populações, versões braquíticas com folhas horizontais e versões plantas altas com folhas verticais (lg_2), em uma densidade de população próxima à obtida no espaçamento de 0,80 metros, e obtiveram uma vantagem de 9% em média a versão lg_2 . Esses autores porém, não relataram o espaçamento utilizado. Deve-se ressaltar, no entanto, que o Piranão é uma variedade melhorada. No espaçamento de 1,00 metro, a produção do Piranão foi 12,5% maior que do "sem lígula" (Tabela 6). No espaçamento de 1,20 metros, todas as médias de produção de grãos de equipararam.

A produção de grãos do híbrido C 5005-M foi

significativamente maior que as dos tipos com "arquitetura mo
dificada" nos espaçamentos de 0,60, 1,00 e 1,20 metros. No es
paçamento de 0,80 metros, entretanto, a sua produção se equi-
parou com a do tipo "sem lígula", mas foi maior que a do tipo
"espetado" em 24,3% (0,62 t/ha). O valor do quadrado médio
residual desse experimento foi, no entanto, alto. Em relação
ao tipo "normal", a sua produção foi superior somente no espa-
çamento de 0,60 metros. Nos espaçamentos de 0,80 e 1,00 me-
tros, as suas médias se equipararam.

Entre as testemunhas, a produção de grãos do
Piranão foi menor que a do híbrido C 5005-M nos quatro espaça-
mentos (Tabela 6). Entretanto, a análise detectou diferenças
significativas somente nos dois espaçamentos extremos (0,60 e
1,20 metros).

A análise da variância conjunta para os quatro
espaçamentos, é apresentada na Tabela 4. Uma diferença alta-
mente significativa foi detectada entre as médias das cultiva-
res. Para as "populações arquitetura" a produção de grãos do
tipo "sem lígula" (3,48 t/ha) e do "normal" (3,6 t/ha), foram
superiores em aproximadamente 11,3% à do tipo "espetado" (3,19
t/ha). Entretanto, a análise não detectou diferenças entre
essas médias, indicando que, em média para os quatro espaça-
mentos, a inclinação das folhas não afetou a produção de
grãos.

Os espaçamentos afetaram significativamente a produção de grãos (Tabela 4). As respostas das cultivares à variação do espaçamento, entretanto, foram diferentes. A Tabela 9 apresenta os resultados da análise de regressão para as cinco cultivares. Entre as testemunhas, o híbrido C 5005-M respondeu linearmente ao aumento do espaçamento, enquanto que a resposta do Piranão foi cúbica. Essa resposta se deve ao fato de que nos espaçamentos de 0,60 e 0,80 metros, as produções praticamente se equipararam. Entretanto, no espaçamento de 1,00 metro, a produção aumentou abruptamente e mostrou tendência de diminuir novamente, no espaçamento de 1,20 metros. Em cultivos comerciais, o espaçamento recomendado para o Piranão é de 0,75 metros entre linhas (RISSI, 1976). Esse trabalho no entanto, indicou que o melhor espaçamento para essa cultivar é 1,00 metro (Figura 2).

Entre as "populações arquitetura", o tipo "espetado" respondeu linearmente ao aumento do espaçamento, enquanto que a resposta do tipo "normal" foi quadrática (Figura 1). O tipo "semelígua", porém, não respondeu significativamente à variação no espaçamento (Tabela 9).

Entre as "populações arquitetura", na amplitude de espaçamento estudada, o tipo "normal" foi mais influenciado pela diminuição do espaçamento, que os tipos com "arquitetura modificado" (Figura 1). Em outras palavras, o tipo "normal" sofreu uma maior redução na produção de grãos que os

tipos com "arquitetura modificada", sendo, portanto, mais intolerante a diminuição do espaçamento entre linhas. O tipo "espetada" também se mostrou intolerante à diminuição do espaçamento, embora em um grau menor que o tipo "normal" (Figura 1). Embora não tenha feito uma análise de estabilidade, esses resultados sugerem que o tipo "sem lígula" é bastante estável às variações no espaçamento, na amplitude estudada (Figura 1). A interação arquitetura x espaçamentos não foi significativa (Tabela 4). Entretanto, os resultados da Tabela 6, indicam uma tendência de superioridade para os tipos com "arquitetura modificada" sobre o "normal" nos espaçamentos mais estreitos, e uma relação inversa nos espaçamentos mais largos.

Entre as testemunhas, a produção de grãos da cultivar Piranão foi mais afetada pela diminuição do espaçamento entre as linhas que a produção do híbrido C 5005-M (Figura 2). Em outras palavras, a cultivar Piranão parece ser menos tolerantes à diminuição do espaçamento entre as linhas. Como já foi discutido anteriormente, o seu maior número de folhas por unidade de colmo, assim como suas folhas mais largas, podem causar um autossombreamento grande entre as folhas da mesma planta. Isso, sem dúvida, anularia sua vantagem de apresentar o porte da planta mais baixo. A interação testemunhas x espaçamentos não foi significativa (Tabela 4). Tais resultados indicam que a inclinação das folhas é uma caracterís

tica importante a ser considerada na seleção de genótipos tolerantes à plantios densos e/ou espaçamentos estreitos. Esses resultados concordam com os obtidos por SHETTY *et alii* (1976), PEPPER *et alii* (1977) e LAMBERT e JOHNSON (1978). O híbrido C 5005-M e o Piranão provavelmente foram selecionados para prolificidade, no entanto, ambos mostraram-se bastante intolerantes à diminuição do espaçamento (Figura 2).

Comparando-se as respostas obtidas para o carter índice de espigas com os de produção de grãos à diminuição do espaçamento entre as linhas, para as cinco cultivares estudadas, verifica-se que elas são diferentes (Figuras 1, 2 e 3). Isso indica que somente o índice de espigas não é suficiente para se avaliar o grau de tolerância à diminuição do espaçamento e/ou aumento da densidade de plantio. Outras características estão envolvidas na tolerância. Entretanto, as populações com "arquitetura modificada" foram menos afetadas negativamente pela diminuição do espaçamento entre as linhas para ambas as características, o que vem reforçar a importância da inclinação das folhas na tolerância à plantios densos (Figuras 1 e 3).

A grande quantidade de radiação solar que atinge o solo nas parcelas dos tipos com "arquitetura modificada", é uma indicação de que esse espaçamento não permitiu que esses tipos usem eficientemente a radiação solar incidente. Embora o índice de área foliar não tenha sido determinado, os

resultados obtidos por FRÖLICH *et alii* (1977), SHETTY *et alii* (1976) e PEPPER *et alii* (1977), indicam que o índice de área foliar das populações com "arquitetura modificada" obtidos nesse trabalho, é bem menor que 4. O veranico que ocorreu durante o período de florescimento, provavelmente, concorreu para diminuir a área foliar por planta, devido o secamento de algumas folhas inferiores. WOOLLEY *et alii* (1962) e GIESBRECHT (1969) relataram que a deficiência de umidade pode diminuir a densidade de população ótima para a máxima produção de grãos. Esses resultados indicam a possibilidade de se diminuir ainda mais o espaçamento para os tipos com "arquitetura modificada". Os resultados do experimento de espaçamento conduzido por LAMBERT e JOHNSON (1978), indicaram uma superioridade média das versões "sem lígula" (lg_2) de 59% sobre a média das versões normais, em plantios equidistantes (25,4 cm x 25,4 cm).

Com relação ao gene "liguleless", LEMON *et alii* (1971) acreditam que angulos foliares menores que 10° , provocam o enrolamento das folhas ao redor do colmo, causando um sombreamento mútuo, com a conseqüente perda de luz solar. Em bora essa característica tenha sido constatada em algumas plantas da população "sem lígula", constatou-se visualmente que nessa população existiu variabilidade para o ângulo foliar. Assim, a seleção de plantas "sem lígula" com um ângulo de inserção no colmo maior, de modo à diminuir os efeitos de enrolamento da folha no colmo, parece possível.

Alguns autores tem verificado efeitos pleiotrópicos dos genes que modificam a inclinação das folhas. Assim, SHETTY *et alii* (1976) verificaram que a baixa produção de grãos do tipo lg_2 foi associado com um crescimento fraco das plantas, evidenciado pelo baixo peso da planta. A população "sem lígula" utilizada no presente estudo teve, entretanto, um desenvolvimento vegetativo normal. Verificou-se, porém, que a altura das plantas foi maior que a dos tipos "normal" e "espetado", os colmos mais finos e folhas mais estreitas e curtas. Essa última característica é, no entanto, vantajosa, uma vez que permite a obtenção de maiores índices de área foliar (WILLIAMS e JOSEPH, 1974). Por outro lado, Hanson (1971), citado por EVANS (1976), relatou que existe uma correlação negativa entre o tamanho das folhas e a taxa fotossintética. O colmo mais fino do tipo "sem lígula", parece não estar associado com um maior acamamento. Outro efeito favorável causado pelo gene lg_2 , é o número reduzido de ramificações do pendão. LAMBERT e JOHNSON (1978) relataram dos seus experimentos, que uma parte adicional do aumento da produção dos tipos com folhas verticais (lg_2) resultou em um menor efeito do sombreamento dos pendões sobre as folhas. As características dos pendões, no entanto, não foram avaliadas no presente estudo.

Com relação ao tipo "espetado", PEPPER *et alii*

(1977) relataram que esse tipo de orientação de folhas é mais eficiente na utilização de luz, em altas densidades de plantio. Em seu estudo, esses autores mostraram os efeitos desfavoráveis da curvatura das folhas. O presente estudo, no entanto, não comprovou essa eficiência, mostrando que esse tipo apresentou um certo grau de intolerância à diminuição do espaçamento. Existe, no entanto, variabilidade na orientação das folhas no tipo "espetada". Pode-se constatar no campo, que existem plantas com folhas "espetadas", porém, mais compridas e finas e orientadas à um ângulo quase reto, em relação ao colmo, e plantas com folhas mais curtas e inseridas no colmo à um ângulo bastante agudo. A seleção de plantas com esse último tipo de arranjo foliar, poderia ser muito mais interessante, uma vez que cada planta ocuparia uma área menor de superfície do solo.

Entretanto, Warren Wilson (1960) e Kureiwa (1970), citados por FROLICH *et alii* (1977) fizeram modelos de computador que mostraram que a utilização mais eficiente da luz poderia ocorrer quando as folhas superiores são verticais e as inferiores horizontais, e ângulos foliares transicionais apropriados nas folhas medianas. Algumas plantas próximas à essa arquitetura já foram observadas no "composto arquitetura". Tais plantas teriam uma vantagem de no início de seu ciclo de desenvolvimento, em plantios densos, pois, as folhas orientadas horizontalmente permitiria uma maior cobertura do

solo, promovendo a interceptação de uma maior quantidade de luz. No estadio de florescimento, as folhas superiores verticais permitiria uma maior penetração e melhor distribuição de luz no interior da folhagem.

LEITE (1973) sugeriu a introdução do gene lg_2 na cultivar Piranão, argumentando que uma grande eficiência em altas densidades de plantio poderia ser obtida. Os resultados do trabalho de SHETTY (1976) indicaram que a associação do gene br_2 e lg_2 promoveu baixas produções de grãos. Esses autores explicaram esses resultados como sendo causado por ligações fortes de genes desfavoráveis, com os genes br_2 e lg_2 . Entretanto, um experimento de manipulação mecânica das folhas de uma cultivar anã conduzida no CIMMYT (1970), revelou resultados muito promissores. A cultivar Piranão apresenta uma variabilidade relativamente grande para permitir a obtenção de plantas com folhas orientadas em uma posição erecta.

Vários pesquisadores (Goldsworthy e Palmer, 1971, e Tanaka, 1972, citados por ARIYANAYAGAN *et alii*, 1974) argumentam que milhos tropicais não respondem à variação na inclinação das folhas. Eles acreditam que nesses milhos, o principal fator limitante da produção de grãos, é o potencial de armazenamento de assimilados nas espigas (depósito), e não o potencial de produção de assimilados (fonte) como se assume nas pesquisas sobre inclinação das folhas. Entretanto, apenas um trabalho com milho tropical foi encontrado na literatu

ra. Refere-se ao trabalho conduzido no CIMMYT (1970) e que revelou resultados bastante promissores. Todos os outros trabalhos foram conduzidos em regiões temperadas e com materiais adaptados à essas regiões. No Brasil não existe nenhum trabalho publicado nesse sentido. Por outro lado, tem sido demonstrado que em condições de altas densidades, a eficiência fotossintética da planta é bastante reduzida devido ao autossombreamento das folhas. O número de plantas estéreis, são bastante relacionadas com pequenas quantidades de assimilados produzidos por planta. Isso é uma limitação na fonte. Folhas verticais são associadas com um menor número de plantas estéreis. Assim, em condições de espaçamentos estreitos, os tipos com "arquitetura modificada" provavelmente tiveram uma maior taxa fotossintética, resultando no desenvolvimento de um maior número de espigas, mantendo o potencial de depósito de assimilados (depósito) das plantas, relativamente mais alto.

Os resultados obtidos nessa pesquisa, no entanto, não são conclusivos, pois são baseados em dados obtidos em apenas um ano e um local. Justifica-se, portanto, a necessidade de novas avaliações.

5. CONCLUSÕES

(1) Os maiores valores referentes ao caráter índice de espigas obtidos pelos tipos com "arquitetura modificada" em relação ao tipo "normal", nos espaçamentos de 0,60 e 0,80 metros, indicam que a orientação das folhas na posição vertical, foi efetiva em reduzir o número de plantas estéreis em condições de altas taxas de plantio.

(2) Com relação ao caráter produção de grãos, a interação arquitetura da planta x espaçamentos não foi significativa. Entretanto, os resultados indicaram uma tendência de superioridade para os tipos com "arquitetura modificada" sobre o tipo "normal" nos espaçamentos mais estreitos, e uma relação inversa nos espaçamentos mais largos. Tais resultados indicam uma maior tolerância dos tipos com folhas verticais à diminuição do espaçamento e/ou aumento na taxa de plantio, quando comparados com o tipo "normal".

(3) Ambas as características estudadas, índice de espigas e produção de grãos, mostraram que a orientação das folhas numa posição vertical promoveu uma maior tolerância à diminuição do espaçamento, e que portanto, ela deve ser considerada na seleção de genótipos para tolerância à plantios densos.

(4) Em relação às testemunhas, a produtividade de das "populações arquitetura" está no mesmo nível. Esse fato é bastante significativo, pois mostra que as populações arquitetura apesar de serem recentes e não terem ainda sido selecionadas para produtividade, são comparáveis às testemunhas comerciais que contam com muitos anos de seleção.

6. LITERATURA CITADA

- ANGUS, J.F., R. JONES e J.H. WILSON, 1972. A comparison of two barley cultivars differing in leaf inclination. *Australian Journal of Agricultural Research*, 23: 845-857.
- ARIYANAYAGAM, R.P., C.L. MOORE e V.R. CARANGAL, 1974. Selection for leaf angle in maize and its effect on grain yield and other characters. *Crop Science*, 14: 551-556.
- BÖGER, P., 1976. Crop productivity in the light of basic photosynthesis research. *Plant Research and Development*. Tiibingen, 3: 60-75.
- BUREN, L.L., J.J. MOCK e I.C. ANDERSON, 1974. Morphological and physiological traits in maize associated with tolerance to high plant density. *Crop Science*, 14: 426-429.

- CHANG, T.T. e O. TAGUMPAY, 1970. Genotypic association between grain yield and six agronomic traits in a cross between rice variation of contrasting plant type. *Euphytica*, 19: 356-363.
- D'AYALA VALVA, F., 1979. Perspectivas de seleção para alto teor de açúcar no colmo de milho (*Zea mays* L.). Tese de doutoramento. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 86 pp.
- DONALD, C.M., 1968. The breeding of crop ideotypes. *Euphytica*, 17: 385-403.
- DUNCAN, W.G., W.A. WILLIAMS e R.S. LOOMIS, 1967. Tassels and the productivity of maize. *Crop Science*, 7: 37-39.
- DUNCAN, W.G., 1976. Maize. In: EVANS, L.T., ed. *Crop physiology, some case histories*. Cambridge, University Press, p. 23-50.
- DUNGAN, G.L., A.L. LANG e J.W. PENDLENTON, 1958. Corn plant population in relation to soil productivity. *Advances in Agronomy*, 10: 435-473.
- EARLEY, E.B., R.J. MILLER, G.L. RICHERT, R.H. HAGEMAN e R.D. SEIF, 1966. Effects of shade on maize production under field conditions. *Crop Science*, 6: 1-7.

EVANS, L.T., 1976. The physiological basis of crop yield.

In: EVANS, L.T., ed. *Crop physiology, some case histories*.
Cambridge, University Press, p. 327-355.

EVANS, L.T. e I.F. WARDLAW, 1976. Aspects of the comparative physiology in cereals. *Advances in Agronomy*, 28: 301-359.

FRÖLICH, W.G., W.G. POLLMER e D. KLEIN, 1977. Performance of upright-leaved liguleless-2 and Liguleless-3 maize hybrids adapted to central European climatic conditions. *Z. Pflanzenzuchtg*, 79: 134-144.

GALVÃO, J.D., S.S. BRANDÃO e F.R. GOMES, 1969. Efeito da população de plantas e níveis de nitrogênio sobre a produção de grãos e sobre o peso médio das espigas de milho. *Experimentiae*, 9: 39-82.

GIESBRECHT, J., 1969. Effect of population and row spacings on the performance of four corn (*Zea mays* L.) hybrids. *Agronomy Journal*, 61: 439-441.

HEICHEL, G.H. e R.B. MUSGRAVE, 1969. Varietal differences in net photosynthesis of *Zea mays* L. *Crop Science*, 9: 483-486.

HESKETH, J.D. e R.B. MUSGRAVE, 1962. Photosynthesis under field conditions. IV. Light studies with individual corn leaves. *Crop Science*, 2: 311-315.

- HICKS, D.R. e R.E. STUCKER, 1972. Plant density effect on grain yield of corn hybrids diverse in leaf orientation. *Agronomy Journal*, 64: 484-487.
- HOFSTRA, G. e C.D. NELSON, 1969. The translocation of photosynthetically assimilated C¹⁴ in corn. *Canadian Journal of Botany*, 47: 1435-1442.
- HOYT, P. e R. BRADFIELD, 1962. Effect of varying leaf area by partial defoliation and plant density on dry matter production in corn. *Agronomy Journal*, 54: 523-525.
- INTERNATIONAL CENTER FOR THE IMPROVEMENT OF MAIZE AND WHEAT. CIMMYT Report 1969-70 on progress toward increasing yields of maize and wheat, México, 25.
- JENNINGS, P.R., 1964. Plant type as a rice breeding objective. *Crop Science*, 4: 13-15.
- LAMBERT, R.J. e R.R. JOHNSON, 1978. Leaf angle, tassel morphology, and the performance of maize hybrids. *Crop Science*, 18: 499-502.
- LANG, A.L., J.W. PENDLENTON e G.H. DUNGAN, 1956. Influence of population and nitrogen levels on yield and protein and soil contents of nine corn hybrids. *Agronomy Journal*, 48: 284-289.
- LEMON, E., D.W. STEWART e R.W. SHANWCROFT, 1971. The sun's work in a cornfield. *Science*, 174: 371-378.

- LEITE, D.R. e E. PATERNIANI, 1973. Comportamento de milho (*Zea mays* L.) braquiítico-2 em diferentes densidades de plantio. In: Relatório Científico do Instituto de Genética ESALQ/USP. Piracicaba, nº 7, p. 74-82.
- LOOMIS, R.S. e W.A. WILLIAMS, 1969. Productivity and the morphology of crop stands: patterns with leaves. In: EASTIN, J.D., F.A. HASKINS, C.Y. SULLIVAN e C.H.M. van BAVEL, eds. *Physiological aspects of crop yield*. Madison, USA, American Society of Agronomy, p. 27-47.
- MOCK, J.J. e R.B. PEARCE, 1975. An ideotype of maize. *Euphytica*, 24: 613-623.
- MOSS, D.N. e H.T. STINSON, 1961. Differential response of corn hybrids to shade. *Crop Science*, 1: 416-418.
- MOSS, D.N. e R.B. MUSGRAVE, 1971. Photosynthesis and crop production. *Advances in Agronomy*, 23: 317-336.
- NOVAIS, R.F., J.S. GALVÃO e J.M. BRAGA, 1972. Efeito da adubação nitrogenada, população de plantas e híbridos sobre o tamanho das sementes de milho. *Experientiae*, 13: 27-47.
- PENDLENTON, J.W., G.E. SMITH, S.R. WINTER e T.J. JOHNSTON, 1968. Field investigations of the relationships of leaf angle in corn (*Zea mays* L.) to grain yield and apparent photosynthesis. *Agronomy Journal*, 60: 422-424.

- PEPPER, G.E., R.B. PEARCE e J.J. MOCK, 1977. Leaf orientation and yield of maize. *Crop Science*, 17: 883-886.
- PIMENTEL GOMES, F., 1973. *Curso de estatística experimental*. 5a. edição. Livraria Nobel S/A, São Paulo.
- RISSI, R., G.P. VIEGAS, E. PATERNIANI e J.B. MIRANDA FILHO, 1976. Comportamento de híbridos e populações de milho (*Zea mays* L.) de porte baixo, em duas densidades de plantio e quatro locais. In: Relatório Científico do Instituto de Genética, ESAL/USP, Piracicaba, nº 10, p. 186-196.
- RUSSELL, W.A., 1972. Effect of leaf angle on hybrid performance in maize (*Zea mays* L.). *Crop Science*, 12: 90-92.
- RUTGER, J.N. e L.V. CROWDER, 1967. Effect of high plant density on silage and grain yields of six corn hybrids. *Crop Science*. 7: 182-184.
- SHETTY, G.S.S., B.S. SHUKLA, B.D. AGRAWAL e R.K. PANDEY, 1976. Effect of erect leaf orientation on light transmission, growth and grain yield in maize (*Zea mays* L.). *Pantnagar Journal of Research*, 1: 48-52.
- SMITH, C.S., 1978. Morphological and physiological traits associated with barrenness and grain yield in the maize breeding population, Iowa upright leaf synthetic. *Dissertation Abstracts International B*, 38: 5131.

STEEL, R.G.D. e J.H. TORRIE, 1960. *Principles and procedures of statistics*. New York, McGraw Hill, 481 p.

STINSON, H.T. e D.N. MOSS, 1960. Some effects of shade upon corn hybrids tolerant and intolerant of dense planting. *Agronomy Journal*, 13: 482-484.

TANNER, J.W., C.J. GARDENER, N.C. STOSKOPF e E. REINGERGS, 1966. Some observations of upright-leaf-type small grains. *Canadian Journal of Plant Science*, 46: 690.

TANNER, J.W., 1969. Discussão do trabalho de R.S. LOOMIS e W.A. WILLIAMS. In: EASTIN, J.D., F.A. HASKINS, C.Y. SULLIVAN e C.H.M. van BAVEL, eds. *Physiological aspects of crop yield*. Madison, USA, American Society of Agronomy, p. 50-51.

TOLLENAAR, M., 1977. Sink-source relationships during reproductive development in maize. A review. *Maydica*. Bergamo, 22: 49-75.

TREMBATH, B.R. e J.F. ANGUS, 1975. Leaf inclination and crop production. *Field Crop Abstracts*, 28: 231-244.

WHIGHAM, D.K. e D.G. WOOLLEY, 1974. Effect of leaf orientation, leaf area, and plant densities on corn production. *Agronomy Journal*, 66: 482-486.

- WILLIAMS, C.N. e K.T. JOSEPH, 1974. *Climate, soil and crop production in the humid tropics*. Oxford in Asia college texts. Oxford University Press, Purdue, p. 177.
- WILLIAMS, W.A., R.S. LOOMIS, W.G. DUNCAN, A. DOVRAT e F. NU-NEZ, 1968. Canopy architecture at various populations densities and the growth and grain yield of corn. *Crop Science*, 8: 303-308.
- WINTER, S.R. e A.J. OHLROGGE, 1973. Leaf angle, leaf area, and corn yield. *Agronomy Journal*, 65: 395-397.
- WOODLEY, D.G., N.P. BARACCO e W.A. RUSSELL, 1962. Performance of four corn inbreds in single cross as influenced by plant density and spacing patterns. *Crop Science*, 2: 441-444.
- YOSHIDA, S., 1972. Physiological aspects of grain yield. *Annual Review of Plant Physiology*, 23: 437-464.
- ZINSLY, J.R. e R. VENCovsky, 1971. Arquitetura da planta. In: Relatório Científico do Instituto de Genética ESALQ/USP, Piracicaba, nº 5 p. 229-233.

TABELAS E FIGURAS

Tabela 1. Análises da variância relativa ao caráter produção de grãos, em toneladas por hectare, com dados corrigidos para 15,5% de unidade, referentes aos quatro espaçamentos (0,60, 0,80, 1,00 e 1,20 m) entre linhas. E.E. de Anhembi, Piracicaba. 1978/79.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrados Médios			
		0,60 m	0,80 m	1,00 m	1,20 m
Blocos	4	0,3971	1,1192	0,5031	0,3286
Cultivares	4	0,4166	0,4594	1,2775*	0,6106
Entre Grupos	1	0,2606	0,0287	1,6558	1,0657
Dentro Arquitetura	2	0,2507	0,7155	1,4735*	0,0433
Arquitetura modificada vs. normal	1	0,2878	0,2577	2,7661*	0,0642
Dentro arquitetura modificada	1	0,2136	1,1732	0,1808	0,0223
Dentro Testemunhas	1	0,9043*	0,3778	0,5073	1,2902*
Resíduo	16	0,1519	0,3924	0,3789	0,2626
C.V. (%)		13,38	18,72	14,86	13,27

dentro arquitetura: refere-se às "populações arquitetura" - "normal", "sem lígula" e "espetada".

dentro arquitetura modificada: refere-se às populações "sem lígula" e "espetada".

dentro testemunhas: refere-se à cultivar Piranão e ao híbrido C 5005-M.

Tabela 2. Análises da variância relativas ao caráter índice de espigas, com dados transformados para $\sqrt{x}$, para os quatro espaçamentos (0,60, 0,80, 1,00 e 1,20 m) entre linhas. E.E. de Anhembi, Piracicaba. 1978/79.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrados Médios			
		0,60 m	0,80 m	1,00 m	1,20 m
Blocos	4	0,0036**	0,0033	0,0015	0,0007
Cultivares	4	0,0063**	0,0043*	0,0028*	0,0091**
Entre Grupos	1	0,0010	0,0080*	0,0002	0,0003
Dentro arquitetura	2	0,0103**	0,0022	0,0004	0,0022
Arquitetura modificada vs. normal	1	0,0205**	0,0028	0,0001	0,0035*
Dentro arquitetura modificada	1	0,0001	0,0016	0,0006	0,0008
Dentro testemunhas	1	0,0040*	0,0048	0,0106**	0,0319**
Resíduo	16	0,0007	0,0011	0,0007	0,0008
C.V. (%)		3,24	3,72	2,76	3,01

dentro arquitetura: refere-se às "populações arquitetura" - "normal", "sem lígula" e "espetada".

dentro arquitetura modificada: refere-se às populações "sem lígula" e "espetada".

dentro testemunhas: refere-se à cultivar Piranão e ao híbrido C 5005-M.

Tabela 3. Análises da variância relativas ao caráter "stand" final, com dados transformados para $\sqrt{x}$, para os quatro espaçamentos (0,60, 0,80, 1,00 e 1,20 m) entre linhas. E.E. de Anhembi, Piracicaba. 1978/79.

Fontes de variação	G.L.	Quadrados Médios			
		0,60 m	0,80 m	1,00 m	1,20 m
Blocos	4	0,0567	0,0260	0,0196	0,0234
Cultivares	4	0,1037	0,0778	0,0676**	0,0450
Entre grupos	1	0,1487	0,0366	0,0073	0,0089
Dentro arquitetura	2	0,1159	0,0769	0,0478*	0,0606
Arquitetura modificada vs. normal	1	0,1482	0,1354	0,0173	0,0184
Dentro arquitetura modificada	1	0,0835	0,0183	0,0782**	0,1028
Dentro testemunhas	1	0,0347	0,1210	0,1679**	0,0502
Resíduo	16	0,0474	0,0510	0,0081	0,0246

C.V. (%)

1,86 1,91 0,75 1,32

dentro arquitetura: refere-se às "populações arquitetura" - "normal", "sem lígula" e "espetada".

dentro arquitetura modificada: refere-se às populações "sem lígula" e "espetada".

dentro testemunhas: refere-se à cultivar Piranão e ao híbrido C 5005-M.

Tabela 4. Análise da variância conjunta relativa ao caráter produção de grãos, em toneladas por hectare, com dados corrigidos para 15,5% de umidade, para os quatro espaçamentos entre linhas. E.E. de Anhembi, Piracicaba. 1978/79.

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio
Repetições/espaçamentos	16	0,5870*
Cultivares	4	1,7219**
Entre grupos	1	2,9575**
Dentro arquitetura	2	0,8601
Arquitetura modificada vs. normal	1	0,8909
Dentro arquitetura modificada	1	0,8292
Dentro testemunhas	1	2,2101**
Espaçamentos	3	7,4673**
Cultivares x espaçamentos	12	0,3474
Grupos x espaçamentos	3	0,2323
Arquitetura x espaçamentos	6	0,5409
Testemunhas x espaçamentos	3	0,0753
Erro médio	64	0,2964

C.V. (%) = 15,27

dentro arquitetura: refere-se às "populações arquitetura" - "normal", "sem lígula" e "espetada".

dentro arquitetura modificada: refere-se às populações "sem lígula" e "espetada".

dentro testemunhas: refere-se à cultivar Piranão e ao híbrido C 5005-M.

Tabela 5. Análise da variância conjunta para os quatro espaçamentos, entre linhas relativa ao caráter índice de espigas, com dados transformados para $\sqrt{x}$. E.E. de Anhembi, Piracicaba. 1978/79.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrado Médio
Repetições/espaçamentos	16	0,0024**
Cultivares	4	0,0157**
Entre grupos	1	0,0020
Dentro arquitetura	2	0,0089**
Arquitetura modificada vs. normal	1	0,0157**
Dentro arquitetura modificada	1	0,0020
Dentro testemunhas	1	0,0429**
Espaçamentos	3	0,1113**
Cultivares x espaçamentos	12	0,0024**
Grupos x espaçamentos	3	0,0025*
Arquitetura x espaçamentos	6	0,0013
Testemunhas x espaçamentos	3	0,0028*
Erro médio	64	0,0009

C.V. (%) = 3,25

dentro arquitetura: refere-se às "populações arquitetura" -
"normal", "sem lígula" e "espetada".

dentro arquitetura modificada: refere-se às populações "sem
lígula" e "espetada".

dentro testemunhas: refere-se à cultivar Piranão e ao híbrido C 5005-M.

Tabela 6. Médias relativas ao caráter produção de grãos, em toneladas por hectare, corrigidas para 15,5% de umidade, para os quatro espaçamentos (0,60, 0,80, 1,00 e 1,20 m) entre linhas. E.E. de Anhembi, Piracicaba. 1978/79.

Cultivares	Espaçamentos (metros)				Média
	0,60	0,80	1,00	1,20	
Sem lígula	3,00	3,57	3,76	3,60	3,48
Espetada	2,71	2,88	3,49	3,69	3,19
Normal	2,56	3,50	4,54	3,79	3,60
C 5005-M	3,31	3,58	4,68	4,47	4,01
Piranão	2,98	3,19	4,23	3,76	3,54
Média	2,91	3,34	4,14	3,86	3,56
D.M.S. (5%)	0,71	1,13	1,11	0,93	0,90

Tabela 7. Médias relativas ao caráter índice de espiga, referentes aos quatro espaçamentos (0,60, 0,80, 1,00 e 1,20 m) entre linhas. E.E. de Anhembi, Piracicaba, 1978/79.

Cultivares	Espaçamentos (metros)				Médias
	0,60	0,80	1,00	1,20	
Sem lígula	0,76	0,91	0,94	1,02	0,91
Espetada	0,76	0,87	0,91	0,98	0,88
Normal	0,63	0,83	0,93	0,94	0,83
C 5005-M	0,73	0,85	1,01	1,12	0,93
Piranão	0,66	0,77	0,88	0,89	0,80
Médias	0,71	0,85	0,93	0,99	0,87
D.M.S. (5%)	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05

Tabela 8. Médias relativas ao caráter "stand" final, em mil plantas por hectare, para os quatro espaçamentos (0,60, 0,80, 1,00 e 1,20 m) entre linhas. E.E. de Anhembi, Piracicaba. 1978/79.

Cultivares	Espaçamentos (metros)				Médias
	0,60	0,80	1,00	1,20	
Sem lígula	75.666	58.083	48.000	40.222	55.492,75
Espetada	73.333	57.250	46.600	38.944	54.031,75
Normal	77.222	59.666	47.866	39.000	55.938,50
C 5005-M	76.666	58.666	48.800	40.111	56.060,75
Piranão	78.222	56.500	46.733	39.166	55.155,25
Médias	76.221,80	58.033,00	47.599,80	39.488,60	55.445,80

Tabela 9. Análise da regressão com desdobramento da soma de quadrado para o caráter produção de grãos, para as cinco cultivares. E.E. de Anhembi, Piracicaba, 1978.

Tratamento	Quadrado médio dos efeitos		
	linear	quadrático	cúbico
Sem lâgula	0,9918	0,6694	0,0001
Espeatada	3,1831**	0,0007	0,1789
Normal	5,5479**	3,6030**	0,8847
C 5005-M	5,2983**	0,2947	1,1384
Piranão	2,8144**	0,5910	1,3739*

Tabela 10. Análise da regressão com desdobramento da soma de quadrado, para o caráter índice de espiga, para as cinco cultivares. E.E. de Anhembi, Piracicaba, 1978.

Tratamento	Quadrados médios dos efeitos		
	linear	quadrática	cúbico
Sem lígula	0,0474**	0,0024	0,0022
Espetada	0,0359**	0,0004	0,0005
Normal	0,0833**	0,0165**	0,0001
C 5005-M	0,1180**	0,0002	0,0006
Piranão	0,0500**	0,0038*	0,0009

Figura 1. Regressão da produção de grãos sobre os quatro espaçamentos entre linhas para as "populações arquitetura". Estação Experimental de Anhembi, Piracicaba, 1978/79.

Figura 2. Regressão da produção de grãos sobre os quatro espaçamentos entre linhas para as testemunhas. Estação Experimental de Anhembi, Piracicaba. 1978/79.

Figura 3. Regressão do índice de espigas sobre os quatro espaçamentos entre linhas para as cinco cultivares. E. de Anhembí, Piracicaba. 1978/79.